

IDENTIFIKASI DAN SIMULASI SEBARAN ABU VULKANIK GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI MENGGUNAKAN METODE RGB HIMAWARI-9 DAN MODEL HYSPLIT (STUDI KASUS: 15 OKTOBER 2025)

Rayhan Rafi¹⁾, Rica Azzura Maldina¹⁾, Mhd. Habibi Al-Ghfari¹⁾, Achmad Zakir²⁾, Aditya Mulya³⁾

^{1), 2), 3)} Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jalan Meteorologi No. 5, Tanah Tinggi Tangerang, Kota Tangerang, Banten, 15119

Email: rayhan.rafi26@gmail.com

Abstrak

Erupsi Gunung Lewotobi Laki-laki pada 15 Oktober 2025 melepaskan abu vulkanik yang berpotensi membahayakan keselamatan penerbangan dan lingkungan sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola sebaran spasial debu vulkanik dan mensimulasikan lintasannya menggunakan integrasi data penginderaan jauh dan pemodelan numerik. Metode yang digunakan meliputi analisis citra satelit Himawari-9 dengan teknik RGB Komposit untuk visualisasi *real-time*, serta model HYSPLIT untuk simulasi trajektori dan dispersi. Hasil analisis citra satelit mengidentifikasi lima fase aktivitas erupsi mulai pukul 00.00 UTC hingga 11.00 UTC, dengan sebaran visual dominan bergerak ke arah Barat Laut dan Utara. Temuan ini divalidasi dengan simulasi HYSPLIT dan analisis *streamline* angin yang menunjukkan mekanisme erupsi multi-lapisan. Angin pada lapisan bawah (1.600 m) dan menengah (4.000 m) membawa material vulkanik ke arah Barat dan Barat Laut, sedangkan lapisan atas (9.000 m) cenderung ke Timur Laut. Keselarasan antara observasi satelit dan model dispersi mengonfirmasi bahwa sebagian besar massa erupsi bergerak pada lapisan atmosfer bawah hingga menengah. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi metode RGB Himawari-9 dan HYSPLIT efektif untuk pemantauan dan mitigasi dampak abu vulkanik.

Kata kunci: Erupsi, Himawari, Vulkanik

Abstract

The eruption of Mount Lewotobi Laki-laki on October 15, 2025, released volcanic ash that potentially endangered aviation safety and the surrounding environment. This study aims to identify the spatial distribution pattern of volcanic ash and simulate its trajectory using the integration of remote sensing data and numerical modeling. The methods used include analysis of Himawari-9 satellite imagery with RGB Composite technique for real-time visualization, and HYSPLIT model for trajectory and dispersion simulation. The results of satellite image analysis identified five phases of eruptive activity from 00.00 UTC to 11.00 UTC, with the dominant visual distribution moving towards the Northwest and North. These findings were validated by HYSPLIT simulation and wind streamline analysis which indicated a multi-layer eruption mechanism. Winds in the lower (1,600 m) and middle (4,000 m) layers carried volcanic material towards the West and Northwest, while the upper (9,000 m) layer tended to the Northeast. The agreement between satellite observations and dispersion models confirms that most of the eruption mass moved in the lower to middle atmosphere. This study demonstrates that the combination of the Himawari-9 RGB and HYSPLIT methods is effective for monitoring and mitigating the impacts of volcanic ash.

Keywords: Eruption, Himawari, Volcanic

1. PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia terletak di antara empat lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Benua Asia, Benua Australia, Samudera Hindia, dan Samudera Pasifik. Karena posisinya yang berada di jalur "Cincin Api" (*ring of fire*), Indonesia tercatat sebagai negara dengan jumlah gunung api aktif terbanyak di dunia, yakni 130 gunung, atau sekitar 16% dari total gunung api aktif global (Nugroho, 2018).

Erupsi gunung berapi memiliki dampak yang besar terhadap kehidupan orang banyak, karena selain membahayakan, juga dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan di sekitarnya. Salah satu bahaya utama

yang dampaknya dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama adalah debu vulkanik (Pasaribu, O. M, 2019).

Berdasarkan laporan *Volcano Observatory Notice For Aviation* (VONA), Gunung Lewotobi Laki-laki mengalami erupsi dengan kategori berbahaya, yang dikonfirmasi dengan penetapan Kode Warna Penerbangan (*Aviation Colour Code*) RED. Laporan dengan Nomor Pemberitahuan 2025LWK487 ini dikeluarkan pada 15 Oktober 2025 pukul 00:35 UTC, bertepatan dengan aktivitas erupsi yang menghasilkan awan abu vulkanik. Perkiraan terbaik ketinggian puncak awan abu mencapai 30669 Kaki (9584 M) di atas permukaan laut, atau 25600 Kaki (8000 M) di atas

puncak gunung. Awan abu teramat bergerak dari arah utara ke barat laut dengan intensitas tebal dan berwarna kelabu. Laporan ini juga mencatat bahwa erupsi terekam di seismogram dengan amplitudo maksimum 47,3 mm dan emisi abu masih terus berlangsung. (MAGMA Indonesia, 2025).

Dalam memantau pergerakan debu vulkanik akibat erupsi, diperlukan penginderaan jarak jauh sebagai alat bantu. Keunggulan utama teknologi penginderaan jauh sebagai instrumen identifikasi pendukung adalah kemampuannya untuk beroperasi tanpa kontak fisik langsung, atau dari jarak jauh (Somantri, 2009). Dalam pemantauan erupsi, digunakan satelit geostasioner karena pengamatan dilakukan secara terus-menerus (kontinu) sehingga cocok untuk pemantauan *real-time* dan ketersediaan data (Saputro dkk, 2019).

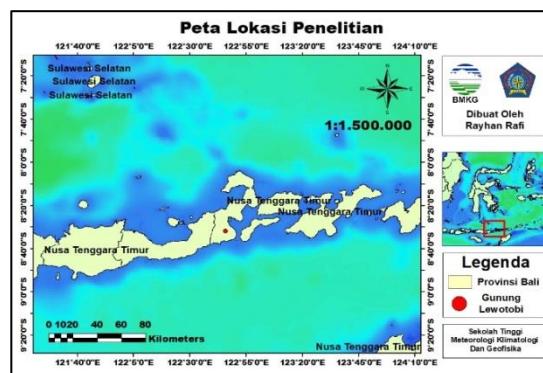
Indonesia saat ini memanfaatkan citra dari satelit Himawari 9, yang merupakan bagian dari program Satelit Meteorologi Geostasioner (GMS) yang telah digunakan sejak tahun 1983. Satelit ini dioperasikan oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA) dan memiliki cakupan wilayah yang luas, membentang dari Asia bagian timur hingga Australia, serta dari Samudra Hindia hingga Pasifik Barat, termasuk sebagian wilayah kutub. Himawari 9 dibekali sensor *Advanced Himawari Imager* (AHI) yang memiliki 16 jenis kanal (*band*) untuk menyediakan data temporal, spektral, dan spasial sesuai kebutuhan pengguna (Kushardono, 2012). Pemanfaatan metode *Red – Green – Blue* (RGB) pada pengolahan Satelit Himawari menjadi metode yang sesuai untuk melakukan pemantauan erupsi secara berkala (Kadiwaru & Darmawan, 2024).

Informasi mengenai sebaran dan lintasan (trajektori) abu vulkanik memegang peranan sangat penting untuk mengurangi dampak merusak dari letusan gunung berapi (Saputro dkk, 2019). Penggunaan metode Hysplit (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) adalah salah satu metode yang tepat digunakan untuk pemantauan jalur berbagai pelepasan bahan radioaktif, termasuk erupsi debu vulkanik.

Penelitian ini berfokus pada studi kasus erupsi Gunung Lewotobi Laki-laki pada 15 Oktober 2025. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk (1) Mengidentifikasi pola sebaran spasial debu vulkanik menggunakan analisis citra satelit Himawari-9, khususnya dengan menerapkan metode RGB (*Red, Green, Blue*) yang telah terbukti efektif dalam membedakan sebaran abu vulkanik dari objek meteorologi lainnya. (2) Mensimulasikan trajektori (lintasan) dan dispersi (sebaran konsentrasi) abu vulkanik di atmosfer menggunakan model Hysplit.

2. METODE

2.1. Lokasi Penelitian



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Penelitian ini berfokus pada area Gunung Lewotobi, yang menjadi lokasi studi utama. Berdasarkan Peta Lokasi Penelitian yang disajikan, secara geografis Gunung Lewotobi terletak pada sebuah pulau yang termasuk dalam wilayah Provinsi Nusa Tenggara Timur. Secara spesifik, koordinat lokasi Gunung Lewotobi berada di sekitar 8°32'0"S dan 122°50'0"E. Peta inset menunjukkan bahwa area penelitian ini berada di kepulauan Nusa Tenggara.

2.2. Data dan Metode

Tahap pertama visualisasi *streamline* angin pada level 850 hPa, 600 hPa, dan 300 hPa dari model ECMWF ERA5 *Reanalysis* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GrADS. Kedua, Pengumpulan data erupsi dilakukan dengan mengakses data satelit Himawari-9 melalui server FileZilla BMKG. Data tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak SATAID (GMSLPD) untuk memvisualisasikan citra erupsi. Metode identifikasi debu vulkanik menggunakan teknik RGB Komposit dengan pengaturan parameter 'BMKG Vol Ash' yang merupakan resep dari BMKG karena dapat menggambarkan pergerakan erupsi secara jelas (Wati & Wiguna, 2017).

Tabel 1. Resep penggunaan BMKG Vol Ash

Channel	Band/ Data	Min	Max	Gamma
Red	S1 (IR-I2)	-1.0	5.0	1.0
Green	S2 (I4-IR)	-10.0	15.0	1.0
Blue	I4	213.34	318.37	1.0

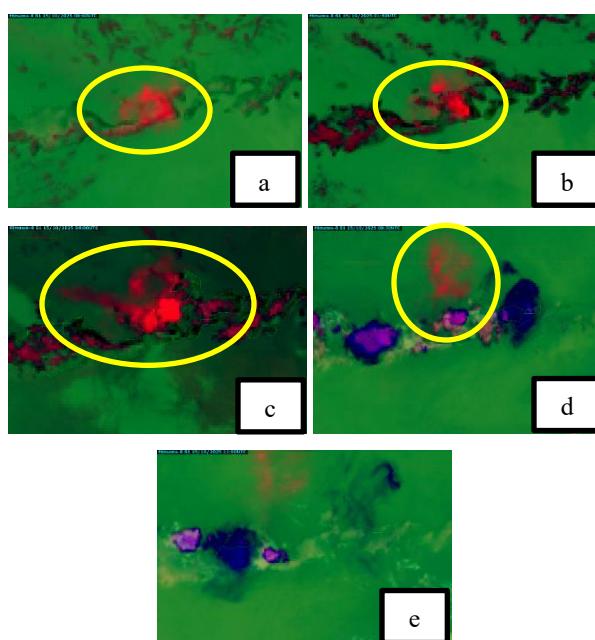
Ketiga, pengolahan trajektori pada model HYSPLIT dilakukan melalui laman resmi NOAA dengan mengakses web pada alamat <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>. Melalui halaman tersebut, proses perhitungan trajektori dijalankan menggunakan menu *Run HYSPLIT Trajectory Model*. Sementara itu, pemodelan dispersi dilakukan pada *platform* yang sama dengan memilih opsi *Run*

HYSPLIT Dispersion Model (*includes volcanic ash*). Fitur ini memungkinkan analisis penyebaran partikel atau polutan di atmosfer berdasarkan kondisi meteorologis yang digunakan sebagai input model. Dengan memanfaatkan kedua fungsi ini, pengguna dapat memperoleh gambaran lengkap mengenai pergerakan massa udara maupun pola persebaran material di atmosfer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Citra Satelit Himawari-9

Hasil pengamatan citra satelit Himawari 9 pada tanggal 15 Oktober 2025 menunjukkan adanya dinamika erupsi yang jelas dan berurutan, sehingga fenomena ini dapat dibagi menjadi lima fase utama, yakni fase awal (*initial phase*), fase bertumbuh (*growing phase*), fase puncak (*climax phase*), fase menurun (*dispersion phase*), dan fase hilang (*dissipation phase*). Setiap fase memiliki karakter visual dan interpretasi vulkanologis yang berbeda, yang memberikan gambaran mengenai perkembangan erupsi.

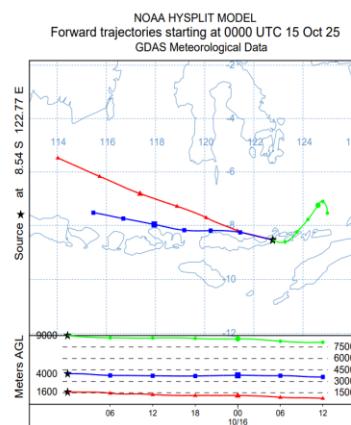


Gambar 2. Hasil pengolahan satelit himawari-9 (a) fase awal (*initial phase*) pada 15 Oktober pukul 00.00 UTC; (b) fase bertumbuh (*growing phase*) pada 15 Oktober pukul 01.50 UTC; (c) fase puncak (*climax phase*) pada 15 Oktober pukul 04.00 UTC (d) fase menurun (*dispersion phase*) pada 15 Oktober pukul 08.30 UTC (e) fase hilang (*dissipation phase*) pada 15 Oktober pukul 11.00 UTC

Pada pukul 00.00 UTC tampak hotspot berwarna merah terang yang sangat terkonsentrasi di tengah area kawasan Gunung Lewotobi Laki-laki. Luasan hotspot masih kecil dan belum menyebar jauh dari pusat kawah. Kemunculan hotspot ini mengindikasikan aktivitas erupsi baru mulai terjadi atau fase awal (*initial phase*). Area merah meluas

secara signifikan dan intensitas warnanya tampak lebih pekat pada pukul 01.50 UTC yang menandakan fase bertumbuh (*growing phase*). Sebaran erupsi mulai menyebar ke arah Barat Laut-Utara. Pada fase ini, aktivitas erupsi mulai meningkat dengan cepat. Pada pukul 04.00 UTC sebaran merah menjadi paling luas, bentuknya mulai tidak beraturan, namun tetap sangat intens di bagian pusat. Arah penyebaran semakin jelas mengikuti angin dominan. Fase ini merepresentasikan fase puncak (*climax phase*) erupsi. Material vulkanik mencapai tingkat emisi maksimum, terutama gas SO₂ dan abu vulkanik. Pada pukul 08.30 UTC intensitas merah mulai mengalami fase menurun (*dispersion phase*) dan bergeser ke arah Utara. Muncul area berwarna ungu/biru gelap yang mengindikasikan adanya campuran awan meteorologis atau material vulkanik yang telah mendingin dan menipis. Pada pukul 11.00 UTC warna merah hampir hilang sepenuhnya. Ini menandakan berakhirnya peristiwa erupsi yang teramat melalui citra satelit. Material vulkanik telah tersebar sangat tipis hingga sulit dideteksi. Atmosfer di sekitar Gunung Lewotobi Laki-laki secara bertahap kembali ke kondisi normal.

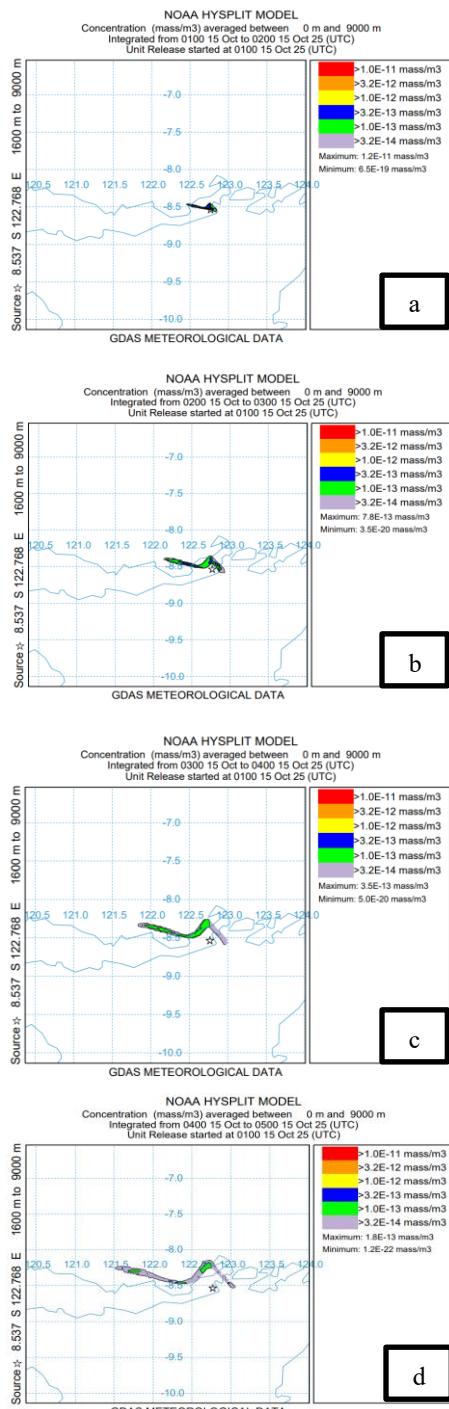
3.2. Trajektori dan Dispersi model HYSPLIT NOAA



Gambar 3. Trajektori arah dan pergerakan debu vulkanik pada tanggal 15 Oktober 2025 *release time* pukul 00.00 UTC.

HYSPLIT memiliki dua model yaitu trajektori model yang digunakan untuk menentukan arah lintasan massa udara (termasuk *plume*/debu vulkanik) dan dispersi yang menghitung nilai konsentrasi partikel serta pola sebarannya (Winarni dkk., 2023). Berdasarkan model trajektori HYSPLIT NOAA pada Gambar 3 pada tanggal 15 Oktober 2025 pukul 00.00 UTC, terdapat tiga garis yang masing-masing menunjukkan ketinggian trajektori yang berbeda. Model Trajektori HYSPLIT dapat menghasilkan lintasan debu yang berbeda pada tiap lapisan dengan menggunakan data GDAS (*Global Data Assimilation System*) yaitu data angin perlapisan sebagai data utama dalam pembuatan trajektori debu vulkanik di atmosfer (Verdyansyah dan Fadhlhan, 2018). Titik-titik pada

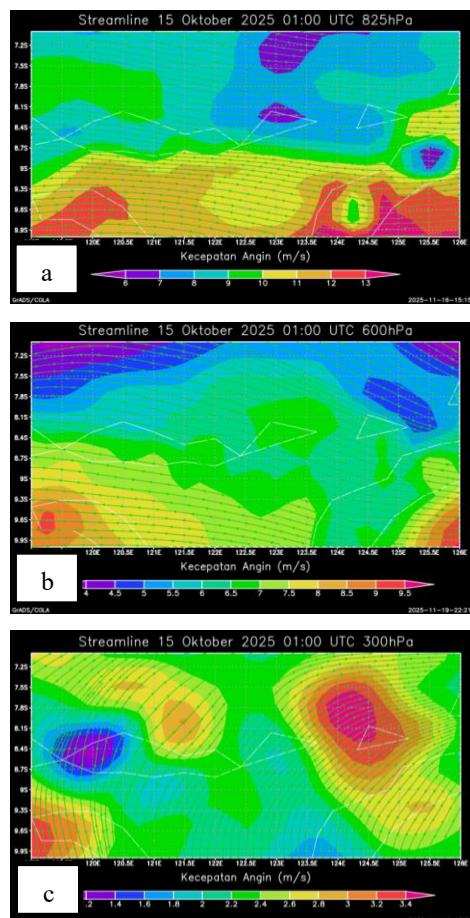
garis trajektori menunjukkan posisi massa udara setiap interval 6 jam selama total 36 jam. Masing-masing trajektori mempunyai arah dan pergerakan yang berbeda-beda yang dipengaruhi oleh kondisi angin sekitar. Trajektori merah menunjukkan ketinggian 1.600 meter (puncak gunung Lewotobi Laki-laki), arah trajektori garis merah ke arah barat laut. Kemudian garis biru menunjukkan arah dan pergerakan trajektori debu vulkanik pada ketinggian 4.000 meter yang mengindikasikan perubahan pergerakan debu vulkanik ke arah barat. Garis trajektori hijau pada model adalah trajektori pada ketinggian 9.000 meter mengarah ke timur laut.



Gambar 4. Hasil pengolahan data hysplit model dispersi pada tanggal (a) 15 Oktober 2025 pukul 01:00-02:00 UTC; (b) 15 Oktober 2025 pukul 02:00-03:00 UTC; (c) 15 Oktober 2025 pukul 04:00-05:00 UTC; (d) 15 Oktober 2025 pukul 05:00-06:00 UTC

Berdasarkan model dispersi HYSPLIT pada 15 Oktober 2025, pola sebaran abu vulkanik menunjukkan pergerakan yang konsisten menuju barat hingga barat laut dari sumber erupsi. Pada Gambar 4 (a) model dispersi pada rentang waktu 01:00–02:00 UTC, abu mulai menyebar dari area puncak dan mengikuti angin permukaan yang dominan bertiup ke barat laut. Pada Gambar 4 (b) model dispersi periode berikutnya pada rentang waktu 02:00–03:00 UTC, abu vulkanik tampak semakin melebar dan bergerak lebih jauh ke barat laut. Pada Gambar 4 (c) model dispersi pada rentang pukul 04:00–05:00 UTC, sebaran abu terus meluas dan abu mulai menunjukkan pelebaran yang lebih signifikan. Pada Gambar 4 (d) pada rentang pukul 05:00–06:00 UTC, sebagian massa abu telah ter dorong semakin jauh ke arah barat laut dengan pola penyebaran yang semakin melebar dan tidak lagi terkonsentrasi. Keseluruhan hasil dispersi ini konsisten dengan pola trajektori HYSPLIT pada ketinggian 1.600 m dan 4.000 m yang sama-sama bergerak menuju barat dan barat laut.

3.3. Streamline



Gambar 5. Hasil pengolahan data *streamline* pada tanggal (a) 15 Oktober 2025 pukul 01:00 ketinggian 825 hPa; (b) 15 Oktober 2025 pukul 01:00 ketinggian 500 hPa; (c) 15 Oktober 2025 pukul 01:00 ketinggian 300 hPa

Angin *streamline* dimanfaatkan untuk mengidentifikasi pola pergerakan angin pada lapisan atmosfer bagian atas (Winarni dkk., 2023). Berdasarkan hasil pengolahan data *streamline* pada 15 Oktober 2025 pukul 01.00 UTC, pola angin pada setiap lapisan menunjukkan arah aliran yang berbeda-beda dan sangat berpengaruh terhadap pergerakan abu vulkanik. Pada Gambar 5 (a) peta *streamline* pada lapisan rendah yaitu 825 hPa, aliran angin bergerak dominan ke arah barat sehingga massa udara pada ketinggian ini membawa abu menuju ke barat laut dari sumber erupsi. Pola ini konsisten dengan hasil trajektori HYSPLIT pada ketinggian 1.600 meter, yang juga menunjukkan lintasan debu vulkanik menuju barat laut. Pada Gambar 5 (b) peta *streamline* pada lapisan menengah yaitu 600 hPa, arah angin juga cenderung mengalir ke barat, sehingga abu yang mencapai ketinggian sekitar 4.000 meter bergerak lebih jauh ke arah barat. Sementara itu, pada Gambar 5 (c) pada lapisan atas yaitu 300 hPa, pola angin bergerak ke arah timur laut, yang mengindikasikan bahwa partikel abu yang terangkat hingga ketinggian sekitar 9.000 meter berpotensi terdorong menuju wilayah timur laut oleh aliran angin atas yang lebih kuat. Perbedaan arah aliran di ketiga lapisan atmosfer ini menunjukkan bahwa abu vulkanik mengalami transport multi-lapisan, di mana setiap lapisan memiliki kontribusi yang berbeda terhadap arah dan jarak sebaran. Kombinasi aliran ini menjelaskan mengapa hasil trajektori HYSPLIT pada tiga ketinggian menghasilkan arah lintasan yang berbeda-beda dan menunjukkan pola dispersi abu yang melebar serta terdistribusi secara luas.

Analisis pola angin (*streamline*) ini secara komprehensif menjawab tujuan penelitian terkait mekanisme transportasi abu vulkanik. Dominasi aliran angin lapisan bawah (825 hPa) dan menengah (600 hPa) yang bergerak ke arah Barat dan Barat Laut memiliki korelasi yang sangat kuat dengan hasil observasi visual citra satelit Himawari-9, di mana abu teramat tebal bergerak ke arah tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar massa abu vulkanik pada erupsi 15 Oktober 2025 terkonsentrasi pada lapisan atmosfer bawah hingga menengah (di bawah 4.000 meter). Sebaliknya, pola angin lapisan atas (300 hPa) yang bergerak ke Timur Laut menjelaskan mengapa model trajektori HYSPLIT mendeteksi lintasan ke arah berlawanan, meskipun secara visual pada citra satelit tidak terlalu dominan. Hal ini menunjukkan bahwa partikel yang mencapai lapisan tropopause (9.000 meter) kemungkinan memiliki konsentrasi yang lebih tipis atau berupa gas yang tidak tertangkap secara

signifikan oleh sensor RGB *Volcanic Ash*, namun tetap terdeteksi secara fisis oleh model numerik. Dengan demikian, validasi silang antara data penginderaan jauh dan model numerik ini mengonfirmasi bahwa sebaran abu vulkanik Gunung Lewotobi memiliki karakteristik transportasi multi-lapis yang kompleks, namun konsisten antara data observasi dan simulasi.

4. SIMPULAN

Berdasarkan beberapa metode yang dilakukan pada kejadian erupsi Gunung Lewotobi Laki-laki pada 15 Oktober 2025, dapat disimpulkan bahwa integrasi data penginderaan jauh (Satelit Himawari 9) dan pemodelan numerik (HYSPLIT) efektif dalam memetakan sebaran abu vulkanik. Analisis citra satelit Himawari-9 menggunakan metode RGB Komposit dengan parameter 'BMKG Vol Ash' berhasil memvisualisasikan dinamika erupsi yang terbagi menjadi lima fase, mulai dari fase awal hingga disipasi, dengan pola sebaran abu yang dominan bergerak ke arah Barat Laut dan Utara. Temuan visual ini selaras dengan hasil simulasi model HYSPLIT dan analisis streamline, yang mengonfirmasi adanya transportasi material pada lapisan atmosfer yang berbeda; angin pada lapisan bawah (1.600 m) dan menengah (4.000 m) membawa abu ke arah Barat dan Barat Laut, sedangkan lapisan atas (9.000 m) cenderung membawanya ke Timur Laut. Konsistensi yang kuat antara pola dispersi HYSPLIT dengan observasi satelit memvalidasi bahwa sebagian besar massa abu vulkanik pada kejadian ini tertransportasi mengikuti pola angin pada lapisan atmosfer bawah hingga menengah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih utama penulis sampaikan kepada segenap civitas Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (STMKG), khususnya Program Studi D-IV Meteorologi. Seluruh dukungan akademis dan panduan komprehensif dalam metodologi serta penulisan ilmiah yang telah penulis terima selama kepenulisan jurnal ini, merupakan fondasi akademik yang memungkinkan penelitian ini dapat dirancang dan diselesaikan secara sistematis dan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Kadiwaru, L., & Darmawan, Y. 2024. Identifikasi Letusan Debu Vulkanik Gunung Marapi Dengan Citra Satelit Himawari-9 (Studi Kasus 03-05 Desember 2023): *Identification Of Volcanic Ash Eruption Of Mount Marapi Using Himawari-9 Satellite Imagery (Study Cases 3-5 December 2023)*. Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, 4(5), 25-32.

- Kushardono, D. 2012. Kajian satelit penginderaan jauh cuaca generasi baru Himawari 8 dan 9. *Jurnal Inderaja*, 3(5).
- MAGMA Indonesia. 2025, 15 Oktober. VONA number: 18798. <https://magma.esdm.go.id/v1/vona/18798>.
- Nugroho, A. 2018. Pengembangan model pembelajaran mitigasi bencana gunung meletus di sekolah dasar lereng gunung slamet. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Multidisiplin*, 1(2), 131-137. Doi : <https://doi.org/10.36341/jpm.v1i2.413>.
- Pasaribu, O. M. 2019. Pemanfaatan Citra Satelit Himawari-8 Dan Model Hysplit Untuk Identifikasi Dan Simulasi Sebaran Debu Vulkanik Gunung Sinabung (Studi Kasus Erupsi Tanggal 19 Februari 2018 & 9 Juni 2019).
- Putra, R. M., Saputro, A. H., Aratzak, L., & Kharisma, S. 2019. *Automatic detection of volcanic ash from Himawari-8 satellite using artificial neural network*. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2202, No. 1, p. 020112). AIP Publishing LLC. Doi: <https://doi.org/10.1063/1.5141725>.
- Somantri, L. 2009. *Teknologi Penginderaan Jauh (Remote Sensing)*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Wati, K. S., Wiguna, P. P. H. 2017. Uji Skema Debu Vulkanis BMKG dan Skema Ash RGB (Studi Kasus: Erupsi Gunung Barujari 04 November 2015). *Megasains*, 8(1), 18-27. Doi: <https://doi.org/10.46824/megasains.v8i1.185>
- Winarni, O., Baskoro, W. T., & Sumaja, K. 2023. Identifikasi Dampak Sebaran Debu Vulkanik Terhadap Penerbangan Di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai (Studi Kasus: Erupsi Gunung Agung Periode Oktober Sampai Desember 2017). *SATUKATA: Jurnal Sains, Teknik, Dan Studi Kemasyarakatan*, 1(4), 173-188. Doi: <https://doi.org/10.47353/satukata.v1i4.1178>.
- Verdyansyah, A., Siregar, M. A. R., & Fadlan, A. 2018. Analisis Sebaran Debu Vulkanik Menggunakan Citra Satelit Himawari-8 dan Model HYSPLIT NOAA (Studi Kasus Erupsi Gunung Sinabung Tanggal 19 Februari 2018). In dalam Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-5, Depok (pp. 680-687).